

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-195812

(43)Date of publication of application : 21.07.1999

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

H01S 3/18

(21)Application number : 09-348972

(71)Applicant : NICHIA CHEM IND LTD

(22)Date of filing : 18.12.1997

(72)Inventor : MUKAI TAKASHI  
NAKAMURA SHUJI

(30)Priority

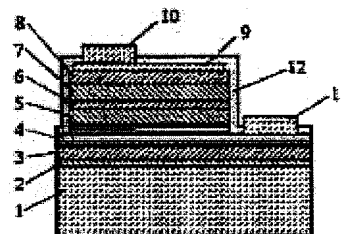
Priority number : 09199471  
09304328Priority date : 25.07.1997  
06.11.1997Priority country : JP  
JP

## (54) NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve reliability of an element, by mainly improving output of a nitride semiconductor element, and also lowering its Vf.

SOLUTION: Between a substrate 1 and an active layer 6, a first undoped nitride semiconductor layer 3, a second n-conductivity type nitride semiconductor layer 4 doped with n-type impurities, and a third undoped nitride semiconductor layer 5 are provided in this order from the side of the substrate 1, and an n-electrode 11 is formed in the second nitride semiconductor 4. A first nitride semiconductor layer 3 is not doped so that it can be a good base layer with good crystallinity, is able to grow n-type impurities having good crystallinity, and a third nitride semiconductor layer 5 is also not doped so that the third nitride semiconductor layer 5 becomes a good base layer with good crystallinity.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-195812

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月21日

(51) Int.Cl.<sup>5</sup>

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平9-348972

(22) 出願日 平成9年(1997)12月18日

(31) 優先権主張番号 特願平9-199471

(32) 優先日 平9(1997)7月25日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平9-304328

(32) 優先日 平9(1997)11月6日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 向井 孝志

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化

学工業株式会社内

(72) 発明者 中村 修二

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化

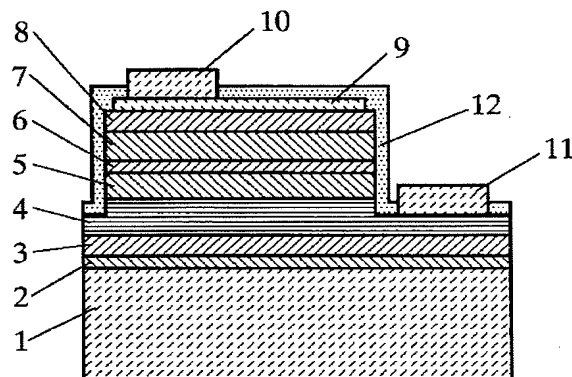
学工業株式会社内

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体発光素子

(57) 【要約】

【目的】 主としてLED、LD等の窒化物半導体素子の出力を向上させると共に、V<sub>f</sub>を低下させて素子の信頼性を向上させる。

【構成】 基板と活性層との間に、基板側から順にアンドープの第1の窒化物半導体層と、n型不純物がドーブされたn導電型の第2の窒化物半導体層と、アンドープの第3の窒化物半導体層とを有し、前記第2の窒化物半導体層にn電極が形成されている。第1の窒化物半導体層はアンドープであるので結晶性の良い下地層となり、n型不純物を結晶性良く成長でき、第3の窒化物半導体層は同じくアンドープであるので、第3の窒化物半導体層が結晶性の良い下地層となる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と活性層との間に、基板側から順にアンドープの第1の窒化物半導体層と、n型不純物がドーピングされたn導電型の第2の窒化物半導体層と、アンドープの第3の窒化物半導体層とを有し、前記第2の窒化物半導体層にn電極が形成されてなることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項2】 前記第2の窒化物半導体層の抵抗率が $8 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 未満であることを特徴とする請求項1に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項3】 前記基板と前記第1の窒化物半導体層との間に、第1の窒化物半導体層よりも低温で成長されるバッファ層を有することを特徴とする請求項1または2に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項4】 前記第3の窒化物半導体層の膜厚が $0.5 \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1乃至3の内のいずれか1項に記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項5】 基板と活性層との間に、基板側から順に、抵抗率が高い第1の窒化物半導体層と、n型不純物がドーピングされて抵抗率が第1の窒化物半導体層よりも小さい第2の窒化物半導体層と、第2の窒化物半導体層よりも抵抗率が高い第3の窒化物半導体層とを有し、前記第2の窒化物半導体層にn電極が形成されてなることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は窒化物半導体 ( $\text{In}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ,  $0 \leq x$ ,  $0 \leq y$ ,  $x+y \leq 1$ ) よりなり、発光ダイオード素子、レーザダイオード素子等の発光素子に用いられる窒化物半導体発光素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】窒化物半導体は高輝度純緑色発光LED、青色LEDとして、既にフルカラーLEDディスプレイ、交通信号灯、イメージスキャナー光源等の各種光源で実用化されている。これらのLED素子は基本的に、サファイア基板上にGaNよりなるバッファ層と、SiドーピングGaNよりなるn側コンタクト層と、単一量子井戸構造のInGaNよりなる活性層と、MgドーピングAlGaNよりなるp側クラッド層と、MgドーピングGaNよりなるp側コンタクト層とが順に積層された構造を有しており、20mAにおいて、発光波長450nmの青色LEDで5mW、外部量子効率9.1%、520nmの緑色LEDで3mW、外部量子効率6.3%と非常に優れた特性を示す。

【0003】また、本出願人はこの材料を用いてパルス電流下、室温での410nmのレーザ発振を世界で初めて発表した{例えば、Jpn.J.Appl.Phys.35(1996)L74、Jpn.J.Appl.Phys.35(1996)L217等}。このレーザ素子は、InGaNを用いた多重量子井戸構造(MQW: Multi-Quantum-Well)の活性層を有するダブルヘテロ構造を

有し、パルス幅 $2 \mu\text{s}$ 、パルス周期2msの条件で、閾値電流610mA、閾値電流密度 $8.7 \text{ kA}/\text{cm}^2$ 、410nmの発振を示す。また、本出願人は室温での連続発振にも初めて成功し、発表した。{例えば、日経エレクトロニクス 1996年12月2日号 技術速報、Appl.Phys.Lett.69(1996)3034-、Appl.Phys.Lett.69(1996)4056-等}、このレーザ素子は20℃において、閾値電流密度 $3.6 \text{ kA}/\text{cm}^2$ 、閾値電圧5.5V、1.5mW出力において、27時間の連続発振を示す。

## 10 【0004】

【発明が解決しようとする課題】このように窒化物半導体はLEDで既に実用化され、LEDでは数十時間ながら連続発振にまで至っているが、LEDを例えば照明光源、直射日光の当たる屋外ディスプレイ等にするためにはさらに出力の向上が求められている。またLEDでは閾値を低下させて長寿命にし、光ピックアップ等の光源に実用化するためには、よりいっそうの改良が必要である。また前記LED素子は20mAにおいてVfが3.6V近くある。Vfをさらに下げることにより、素子の発熱量が少なくなって、信頼性が向上する。またレーザ素子では閾値における電圧を低下させることは、素子の寿命を向上させる上で非常に重要である。本発明はこのような事情を鑑みて成されたものであって、その目的とするところは、主としてLED、LD等の窒化物半導体素子の出力を向上させると共に、Vfを低下させて素子の信頼性を向上させることにある。

## 【0005】

【課題を解決するための手段】本発明の窒化物半導体素子は、基板と活性層との間に、基板側から順にアンドープの第1の窒化物半導体層と、n型不純物がドーピングされたn導電型の第2の窒化物半導体層と、アンドープの第3の窒化物半導体層とを有し、前記第2の窒化物半導体層にn電極が形成されてなることを特徴とする。なお本発明でアンドープの窒化物半導体層とは意図的に不純物をドーピングしない窒化物半導体層を指し、例えば原料に含まれる不純物、反応装置内のコンタミネーション、意図的に不純物をドーピングした他の層からの意図しない拡散により不純物が混入した層及び微量なドーピングにより実質的にアンドープとみなせる層(例えば抵抗率 $3 \times 10^{-1} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上)も本発明ではアンドープと定義する。

【0006】また前記第2の窒化物半導体層の抵抗率は $8 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 未満であることを特徴とする。第2の窒化物半導体層の抵抗率が $8 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上になると、Vfがあまり低下しなくなる傾向にある。抵抗率の好ましい範囲は $6 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 以下、さらに好ましくは $4 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 以下である。下限は特に限定しないが、 $1 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上に調整することが望ましい。第2の窒化物半導体層を単層で形成する場合、下限値は $1 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上、一方、第2の窒化物半導体層を超格子層で構成する場合には $1 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上に調

整することが望ましい。なお超格子層とは膜厚100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム、最も好ましくは50オングストローム以下の窒化物半導体層を積層した多層膜構造を指す。下限値よりも低抵抗にすると、Si、Ge、Sn等の不純物量が多くなりすぎて、窒化物半導体の結晶性が悪くなる傾向にある。

【0007】さらに、前記基板と前記第1の窒化物半導体層との間に、第1の窒化物半導体層よりも低温で成長されるバッファ層を有することを特徴とする。このバッファ層は例えばAlN、GaN、AlGaN等を400℃～900℃において、0.5μm以下の膜厚で成長させることができ、基板と窒化物半導体との格子不整合を緩和、あるいは第1の窒化物半導体層を結晶性よく成長させるための下地層として作用する。

【0008】さらにまた、第3の窒化物半導体層の膜厚が0.5μm以下であることを特徴とする。第3の窒化物半導体層の好ましい膜厚は0.2μm以下、さらに好ましくは0.15μm以下に調整する。下限は特に限定しないが10オングストローム以上、好ましくは50オングストローム以上、最も好ましくは100オングストローム以上に調整することが望ましい。第3の窒化物半導体層はアンドープの層であり、抵抗率が通常0.1Ω・cm以上と高いため、この層を厚膜の層で成長すると逆にVfが低下しにくい傾向にある。

【0009】また、本発明の窒化物半導体発光素子は、基板と活性層との間に、基板側から順に、抵抗率が大きい第1の窒化物半導体層と、n型不純物がドーピングされて抵抗率が第1の窒化物半導体層よりも小さい第2の窒化物半導体層と、第2の窒化物半導体層よりも抵抗率が大きい第3の窒化物半導体層とを有し、前記第2の窒化物半導体層にn電極が形成されてなることを特徴とする。第1及び第3の窒化物半導体層は、例えばアンドープとして抵抗率は、例えば0.1Ω・cmよりも大きくし、第2の窒化物半導体層は、例えばn型不純物をドーピングして抵抗率は $8 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ よりも小さくすることができる。

#### 【0010】

【発明の実施の形態】本発明の発光素子では活性層と基板との間に少なくとも3層構造を有する窒化物半導体層を有している。まず第1の窒化物半導体層はn型不純物を含む第2の窒化物半導体層を結晶性よく成長させるためにアンドープとしている。この層に意図的に不純物をドーピングすると、結晶性が悪くなって、第2の窒化物半導体層を結晶性よく成長させることが難しい。次に第2の窒化物半導体層はn型不純物をドーピングして、抵抗率が低く、キャリア濃度が高いn電極を形成するためのコンタクト層として作用している。従って第2の窒化物半導体層の抵抗率はn電極材料と好ましいオーミック接触を得るためにできるだけ小さくすることが望ましく、好まし

くは $8 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ 未満とする。次に第3の窒化物半導体層もアンドープとする。この層をアンドープとするのは、抵抗率が小さくキャリア濃度の大きい第2の窒化物半導体層は結晶性があまり良くない。この上に直接、活性層、クラッド層等を成長させると、それらの層の結晶性も悪くなるために、その間にアンドープの結晶性の良い第3の窒化物半導体を介在させることにより、活性層を成長させる前のバッファ層として作用する。さらに抵抗率の比較的高いアンドープの層を活性層と第2の窒化物半導体層との間に介在させることにより、素子のリーク電流を防止し、逆方向の耐圧を高くすることができる。なお、第2の窒化物半導体層のキャリア濃度は $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ よりも大きくなる傾向にある。また活性層はInを含むアンドープの窒化物半導体、好ましくはInGaNよりなる井戸層を有する単一量子井戸構造、若しくは多重量子井戸構造とすることが望ましい。n型不純物としては第4族元素が挙げられるが、好ましくはSi若しくはGe、さらに好ましくはSiを用いる。

#### 【0011】

【実施例】【実施例1】図1は本発明の一実施例に係るLED素子の構造を示す模式的な断面図であり、以下この図を元に、本発明の素子の製造方法について述べる。

【0012】サファイア(C面)よりなる基板1を反応容器内にセットし、容器内を水素で十分置換した後、水素を流しながら、基板の温度を1050℃まで上昇させ、基板のクリーニングを行う。基板1にはサファイアC面の他、R面、A面を主面とするサファイア、その他、スピネル( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ )のような絶縁性の基板の他、SiC(6H、4H、3Cを含む)、Si、ZnO、GaAs、GaN等の半導体基板を用いることができる。

【0013】(バッファ層2)続いて、温度を510℃まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG(トリメチルガリウム)とを用い、基板1上にGaNよりなるバッファ層2を約200オングストロームの膜厚で成長させる。

【0014】(第1の窒化物半導体層3)バッファ層2成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaNよりなる第1の窒化物半導体層3を1.5μmの膜厚で成長させる。第1の窒化物半導体層3は基板に直接成長させるバッファ層よりも高温、例えば900℃～1100℃で成長させ、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$ )で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくはGaN、X値が0.2以下の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ とすると結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすい。また膜厚は特に問うものではなく、バッファ層よりも厚膜で成長させ、通常0.1μm以上20μm以下の膜厚で成長させる。この層はアンドープの層であ

るため、抵抗率は $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$ よりも大きい。また第1の窒化物半導体層3は、バッファ層よりも高温で成長させる層であるためアンドープでもバッファ層とは区別される。

【0015】(第2の窒化物半導体層4) 続いて $1050^\circ\text{C}$ で、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガス、不純物ガスにシランガスを用い、SiドープGaNよりなる第2の窒化物半導体層3を $3 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。この第2の窒化物半導体層3も第1の窒化物半導体層と同様に、 $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$ ) で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくはGaN、X値が0.2以下の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ とすると結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすい。膜厚は特に問うものではないが、n電極を形成する層であるので $1 \mu\text{m}$ 以上 $20 \mu\text{m}$ 以下の膜厚で成長させることが望ましい。なお素子構造にしない別のサファイア基板を用い、同様にして第2の窒化物半導体層まで成長させたウェーハを用意し、この第2の窒化物半導体層の抵抗率を測定すると $5 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ であった。

【0016】またこの第2の窒化物半導体層は、互いにバンドギャップエネルギーが異なる2種類の窒化物半導体層が積層されてなるか、若しくは同一組成の窒化物半導体層が積層されてなる超格子構造としても良い。超格子層にすると第2の窒化物半導体層の移動度が大きくなって抵抗率がさらに低下するため、特に発光効率の高い素子が実現できる。超格子構造とする場合には超格子を構成する窒化物半導体層の膜厚は $100 \text{ \AA}$ 以下、さらに好ましくは $70 \text{ \AA}$ 以下、最も好ましくは $50 \text{ \AA}$ 以下に調整する。さらに超格子構造の場合、超格子を構成する窒化物半導体層にSi、Ge、Sn、S等を変調ドーピングしても良い。変調ドーピングとは、超格子層を構成する窒化物半導体層の互いに不純物濃度が異なることを指し、この場合、一方の層は不純物をドーピングしない状態、つまりアンドープでもよい。好ましくは第2の窒化物半導体層を互いにバンドギャップエネルギーの異なる層を積層した超格子構造として、いずれか一方の窒化物半導体層にn型不純物を多くドーピングすることが望ましく、もう一方の窒化物半導体層をアンドープとすることが好ましい。なお変調ドーピングする場合には、不純物濃度差は1桁以上とすることが望ましい。

【0017】(第3の窒化物半導体層5) 次にシランガスのみを止め、 $1050^\circ\text{C}$ で同様にしてアンドープGaNよりなる第3の窒化物半導体層5を $0.15 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。この第3の窒化物半導体層5も $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$ ) で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくはGaN、X値が0.2以下の $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 、またはY値が0.1以下の $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ とすると結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすい。InGaNを成長させ

ると、その上にAlを含む窒化物半導体を成長させる場合に、Alを含む窒化物半導体層にクラックが入るのを防止することができる。なお第2の窒化物半導体層を単一の窒化物半導体で成長させる場合、第1の窒化物半導体層と、第2の窒化物半導体層と、第3の窒化物半導体層とは同一組成の窒化物半導体を成長させることが望ましい。

【0018】(活性層6) 次に、温度を $800^\circ\text{C}$ にして、キャリアガスを窒素に切り替え、TMG、TMI(トリメチルインジウム)、アンモニアを用いアンドープ $\text{In}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 層を $30 \text{ \AA}$ の膜厚で成長させて単一量子井戸構造を有する活性層6を成長させる。

【0019】(p側クラッド層7) 次に、温度を $1050^\circ\text{C}$ に上げ、TMG、TMA、アンモニア、 $\text{Cp}2\text{Mg}$ (シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、 $\text{Mg}$ を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなるp側クラッド層7を $0.1 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。この層はキャリア閉じ込め層として作用し、Alを含む窒化物半導体、好ましくは $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 < y < 1$ ) を成長させることが望ましく、結晶性の良い層を成長させるためにはY値が0.3以下の $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 層を $0.5 \mu\text{m}$ 以下の膜厚で成長させることが望ましい。

【0020】(p側コンタクト層8) 続いて $1050^\circ\text{C}$ で、TMG、アンモニア、 $\text{Cp}2\text{Mg}$ を用い、 $\text{Mg}$ を $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型GaNよりなるp側コンタクト層8を $0.1 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。p側コンタクト層8も $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$  ( $0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$ ) で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくはGaNとすると結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすく、またp電極材料と好ましいオーミック接触が得られやすい。

【0021】反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、 $700^\circ\text{C}$ でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。

【0022】アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層8の表面に所定の形状のマスクを形成し、RIE(反応性イオンエッチング)装置でp側コンタクト層側からエッチングを行い、図1に示すように第2の窒化物半導体層4の表面を露出させる。

【0023】エッチング後、最上層にあるp側コンタクト層のほぼ全面に膜厚 $200 \text{ \AA}$ のNiとAuを含む透光性のp電極9と、そのp電極9の上にボンディング用のAuよりなるpパッド電極10を $0.5 \mu\text{m}$ の膜厚で形成する。一方エッチングにより露出させた第2の窒化物半導体層4の表面にはWとAlを含むn電極11を形成する。最後にp電極9の表面を保護する

ためにSiO<sub>2</sub>よりなる絶縁膜12を図1に示すように形成した後、ウェーハをスクライブにより分離して350μm角のLED素子とする。

【0024】このLED素子は順方向電圧20mAにおいて、520nmの純緑色発光を示し、サファイア基板上にGaNよりなるバッファ層と、SiドープGaNよりなるn側コンタクト層と、単一量子井戸構造のInGaNよりなる活性層と、MgドープAlGaNよりなるp側クラッド層と、MgドープGaNよりなるp側コンタクト層とが順に積層された従来の緑色発光LEDと比較して、20mAにおけるV<sub>f</sub>で0.1~0.2V、出力で5%~10%向上させることができた。

【0025】〔実施例2〕図2は本発明の他の実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式的な断面図であり、レーザ光の共振方向に垂直な方向で素子を切断した際の構造を示すものである。以下この図面を元に実施例2について説明する。

【0026】サファイア(C面)よりなる基板20の上に、実施例1と同様にしてバッファ層21を200オングストロームの膜厚で成長させる。

【0027】(第1の窒化物半導体層22) バッファ層20成長後、温度を1020℃まで上昇させ、1020℃において、アンドープGaNよりなる第1の窒化物半導体層22を5μmの膜厚で成長させる。

【0028】(第2の窒化物半導体層23) 続いて、1020℃で不純物ガスにシランガスを用い、Siをドープしたn型GaNよりなる第2の窒化物半導体層を3μmの膜厚で成長させる。この第2の窒化物半導体層の抵抗率も $5 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ であった。

【0029】(第3の窒化物半導体層24) 次に、温度を800℃にして、TMG、TMI、アンモニアを用い、アンドープIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなる第3の窒化物半導体層24を500オングストロームの膜厚で成長させる。

【0030】(n側クラッド層25) 次に温度を1020℃にして、原料ガスにTMA、TMG、NH<sub>3</sub>、SiH<sub>4</sub>を用い、Siを $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ ドープしたn型Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N層40オングストロームと、アンドープGaN層40オングストロームとを交互に40層ずつ積層した超格子構造よりなるn側クラッド層を成長させる。このn側クラッド層はキャリア閉じ込め層及び光閉じ込め層として作用する。

【0031】(n側光ガイド層26) 続いて、1020℃でSiを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたn型GaNよりなるn側光ガイド層26を0.2μmの膜厚で成長させる。このn側光ガイド層26は、活性層の光ガイド層として作用し、GaN、InGaNを成長させることが望ましく、通常100オングストローム~5μm、さらに好ましくは200オングストローム~1μmの膜厚で成長させることが望ましい。このn側光ガイド層はアンド

ープでも良い。

【0032】(活性層27) 温度を800℃にして、まずSiドープIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる井戸層を25オングストロームの膜厚で成長させる。次にTMIのモル比を変化させるのみで同一温度で、SiドープIn<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nよりなる障壁層を50オングストロームの膜厚で成長させる。この操作を2回繰り返し、最後に井戸層を積層した多重量子井戸構造とする。

【0033】(p側キャップ層28) 次に、温度を1020℃にして、TMG、TMA、アンモニア、Cp<sub>2</sub>Mgを用い、活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きい、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたAl<sub>0.3</sub>Ga<sub>0.7</sub>Nよりなるp側キャップ層28を300オングストロームの膜厚で成長させる。このp側キャップ層28は好ましくはp型とするが、膜厚が薄いため、n型不純物をドープしてキャリアが補償されたi型としても良い。p側キャップ層28の膜厚は0.1μm以下、さらに好ましくは500オングストローム以下、最も好ましくは300オングストローム以下に調整する。0.1μmより厚い膜厚で成長させると、p側キャップ層28中にクラックが入りやすくなり、結晶性の良い窒化物半導体層が成長しにくいからである。またキャリアがこのエネルギーバリアをトンネル効果により通過できなくなる。Alの組成比が大きいAlGaN程薄く形成するとLD素子は発振しやすくなる。例えば、Y値が0.2以上のAl<sub>1-y</sub>Ga<sub>y</sub>Nであれば500オングストローム以下に調整することが望ましい。p側キャップ層28の膜厚の下限は特に限定しないが、10オングストローム以上の膜厚で形成することが望ましい。

【0034】(p側光ガイド層29) 続いて、1020℃で、Mgを $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなるp側光ガイド層26を0.2μmの膜厚で成長させる。このp側光ガイド層29は、n側光ガイド層26と同じく、活性層の光ガイド層として作用し、GaN、InGaNを成長させることが望ましく、通常100オングストローム~5μm、さらに好ましくは200オングストローム~1μmの膜厚で成長させることが望ましい。なおこのp側光ガイド層は、p型不純物をドープしたが、アンドープの窒化物半導体で構成することもできる。

【0035】(p側クラッド層30) 続いて、1020℃においてMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Al<sub>0.25</sub>Ga<sub>0.75</sub>N層40オングストロームと、アンドープGaN層40オングストロームとを交互に40層ずつ積層した超格子構造よりなるp側クラッド層30を成長させる。このp側クラッド層はn側クラッド層と同じくキャリア閉じ込め層及び光閉じ込め層として作用し、特にp側クラッド層側を超格子とすることにより、p層の抵抗が下がり閾値がより低下しやすい傾向にある。

【0036】(p側コンタクト層31) 最後に、p側ク

ラッド層 30 の上に、 $1050^{\circ}\text{C}$  で  $\text{Mg}$  を  $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$  ドープした  $\text{GaN}$  よりなる  $\text{p}$  側コンタクト層 31 を  $150$  オングストロームの膜厚で成長させる。

【0037】反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、 $700^{\circ}\text{C}$  でアニーリングを行い、 $\text{p}$  型不純物がドープされた層をさらに低抵抗化する。

【0038】アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、図 2 に示すように、 $\text{RIE}$  装置で最上層の  $\text{p}$  側コンタクト層 31 と、 $\text{p}$  側クラッド層 30 とをエッチングして、 $4 \mu\text{m}$  のストライプ幅を有するリッジ形状とする。特に活性層よりも上にある  $\text{Al}$  を含む窒化物半導体層以上の層をリッジ形状とすることにより、活性層の発光がリッジ下部に集中して、横モードが単一化しやすく、閾値が低下しやすい。リッジ形成後、リッジ表面にマスクを形成し、図 2 に示すように、ストライプ状のリッジに対して左右対称にして、 $\text{n}$  電極 34 を形成すべき第 2 の窒化物半導体層 23 の表面を露出させる。

【0039】次に  $\text{p}$  側コンタクト層 31 のリッジ最上層のほぼ全面に  $\text{Ni}$  と  $\text{Au}$  よりなる  $\text{p}$  電極 32 を形成する。一方、 $\text{Ti}$  と  $\text{Al}$  よりなる  $\text{n}$  電極 34 をストライプ状の第 2 の窒化物半導体層 23 のほぼ全面に形成する。なおほぼ全面とは  $80\%$  以上の面積をいう。このように  $\text{p}$  電極 32 に対して左右対称に第 2 の窒化物半導体層 23 を露出させて、その第 2 の層 23 のほぼ全面に  $\text{n}$  電極を設けることも、閾値を低下させる上で非常に有利である。さらに、 $\text{p}$  電極と  $\text{n}$  電極との間に  $\text{SiO}_2$  よりなる絶縁膜 35 を形成した後、その絶縁膜 35 を介して  $\text{p}$  電極 32 と電氣的に接続した  $\text{Au}$  よりなる  $\text{p}$  パッド電極 33 を形成する。

【0040】以上のようにして、 $\text{n}$  電極と  $\text{p}$  電極とを形成したウェーハを研磨装置に移送し、ダイヤモンド研磨剤を用いて、窒化物半導体を形成していない側のサファイア基板 20 をラッピングし、基板の厚さを  $50 \mu\text{m}$  とする。ラッピング後、さらに細かい研磨剤で  $1 \mu\text{m}$  ポリシングして基板表面を鏡面状とする。

【0041】基板研磨後、研磨面側をスクライブして、ストライプ状の電極に垂直な方向でバー状に劈開し、劈開面に共振器を作製する。共振器面に  $\text{SiO}_2$  と  $\text{TiO}_2$  よりなる誘電体多層膜を形成し、最後に  $\text{p}$  電極 32 に平行な方向で、バーを切断してレーザ素子とする。この素子をヒートシンクに設置して室温でレーザ発振を試みたところ、室温において、閾値電流密度  $2.5 \text{ kA}/\text{cm}^2$ 、閾値電圧  $4.0 \text{ V}$  で、発振波長  $405 \text{ nm}$  の連続発振が確認され、 $500$  時間以上の寿命を示し、従来の窒

化物半導体レーザ素子に比較して  $10$  倍以上寿命が向上した。

【0042】【実施例 3】実施例 1 において、第 3 の窒化物半導体層 5 成長時に、温度を  $800^{\circ}\text{C}$  にして  $\text{TMG}$ 、 $\text{TMI}$ 、アンモニアを用い、アンドープ  $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  層を  $200$  オングストロームの膜厚で成長させる他は実施例 1 と同様にして  $\text{LED}$  素子を得たところ、実施例 1 とほぼ同等の特性を有する素子が得られた。

【0043】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の素子では、活性層と基板との間にあるアンドープの第 1 の窒化物半導体層で、 $\text{n}$  型不純物がドープされた第 2 の窒化物半導体の結晶性を維持するように成長できるので、次に  $\text{n}$  型不純物をドープした第 2 の窒化物半導体層が結晶性よく厚膜で成長できる。さらにアンドープの第 3 の窒化物半導体層がその層の上に成長させる窒化物半導体層のための結晶性の良い下地層となる。そのため第 2 の窒化物半導体層の抵抗率を低下できて、キャリア濃度が上がるために、非常に効率の良い窒化物半導体素子を実現することができる。このように本発明によれば、 $V_f$ 、閾値の低い発光素子が実現できるため、素子の発熱量も少なくなり、信頼性が向上した素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明の一実施例に係る  $\text{LED}$  素子の構造を示す模式断面図。

【図 2】 本発明の他の実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式断面図。

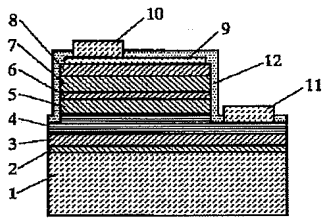
【符号の説明】

- 1、20・・・基板
- 2、21・・・バッファ層
- 3、22・・・第 1 の窒化物半導体層
- 4、23・・・第 2 の窒化物半導体層
- 5、24・・・第 3 の窒化物半導体層
- 6、27・・・活性層
- 7、30・・・ $\text{p}$  側クラッド層
- 8、31・・・ $\text{p}$  側コンタクト層
- 25・・・ $\text{n}$  側光ガイド層
- 26・・・ $\text{n}$  側クラッド層
- 28・・・ $\text{p}$  側キャップ層
- 29・・・ $\text{p}$  側光ガイド層
- 9、32・・・ $\text{p}$  電極
- 10、33・・・ $\text{p}$  パッド電極
- 11、34・・・ $\text{n}$  電極
- 35・・・絶縁膜

(7)

特開平 1 1 - 1 9 5 8 1 2

【図 1】



【図 2】

